

# 基于在线排队模型的信道优化分配研究

许洪华 徐 驰 顾玲丽 刘青松

(苏州科技大学电子与信息工程学院 江苏 苏州 215009)

**摘 要** 针对认知无线电中信道资源短缺和信道资源分配不合理的现状,提出一种线星型网络信道质量评估和信道资源优化分配算法。该算法产生一组以可靠性为准的排队序列和权重分配方法,作为簇头和网关处信道资源的分配基础。由于同一层簇头节点对信道的评判能力差、感知能力弱,利用网关节点合作感知以在线排队模型与最优融合准则,实现对信道资源分配。此外,引入遗传算法,结合其基础原理,运用变异和重组的方法对网关节点处形成的专家意见权重进行调节,实现信道资源优化分配。利用 MATLAB 软件进行仿真,实验结果表明利用该算法对信道的优化分配具有一定的优越性。

**关键词** 信道优化 信道评估 在线排队 遗传算法

中图分类号 TP301

文献标识码 A

DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2019.11.019

## CHANNEL OPTIMIZATION ALLOCATION BASED ON ONLINE QUEUING MODEL

Xu Honghua Xu Chi Gu Lingli Liu Qingsong

(School of Electronic and Information Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, Jiangsu, China)

**Abstract** Aiming at the shortage of channel resources and unreasonable channel resource allocation in cognitive radio, we propose a line star network channel quality assessment and channel resource optimization allocation algorithm. The algorithm generated a set of queuing sequence and weight allocation method based on reliability, which were used as the basis for the allocation of channel resources at the cluster head and the gateway. Since the cluster head nodes in the same layer have poor judgment ability and weak perception, we adopted cooperative sensing of gateway nodes to realize channel resource allocation with the online queuing model and the optimal fusion criterion. The genetic algorithm was introduced. Combined with its basic principle, we used the mutation and recombination methods to adjust the expert opinion weight formed at the gateway node to realize the optimal allocation of channel resources. The simulation was carried out by using MATLAB. The experimental result shows that the algorithm has certain advantages for the optimal allocation of channels.

**Keywords** Channel optimization Channel estimation Online queuing Genetic algorithm

## 0 引 言

对于目前各种网络而言,其网络节点存在各异方式,针对各异的网络节点,往往主要考量的是对信道资源的合理使用以及信道传输信息的可靠性等来评价一个系统优与劣。而对于信道资源的合理使用和信道传输信息的可靠性往往取决于信道的配置以及信道质量。

针对上述问题,文献[1]提出一种以局部未使用的频谱增加系统的总容量,其推导出频谱池系统的总频谱效率以及可能的成对通信最大数目。文献[2]在已建频谱池的基础上,提出了频谱空穴空闲时间由长到短的排队时间模型,并对该模型下的频谱切换概率问题进行对比研究。文献[3]的认知无线电中的关键技术包括动态频谱感知、动态频谱分配以及动态频谱管理。文献[4]介绍了传统的信道资源分配都是以 list-coloring 算法、CSGC 算法、Local bargaining 算法以

及并行分配算法作为分配的模型,同时提出了一种新的 DSA 策略。该策略建立在频谱池的基础之上,较即时接入方式有较高的接入效率。文献[5]提出了一种介于信道节点的动态频谱分配法,对上述所列算法略作解释,其核心算法为图论算法,是以考虑用户所获得的带宽效益为主要目的,并没有结合用户实际需求相结合,甚至会导致分配给用户的信道与用户的所需出现不匹配,同时造成时间开销大。文献[6]提出一种结合遗传算法和模拟退火算法的信道分配方案,针对多接口多信道分配问题,以最小化信道干扰为目标,实现对网络吞吐量进行提高和较低的信道冲突。文献[7]针对多信道单无线电认知无线网络,提出了一种新的混合动态频谱接入方法,该方法将经典和随机两种方法与新的遗传算子相结合。对于频谱池而言,文献[8]给出了一种关于频谱池在认知无线电的应用,并详细列出了认知无线电能够有效解决频率资源的稀缺性和低利用率之间的矛盾,使得频率资源得到合理的利用。文献[9]提出一种基于能量均衡的可靠传输调度算法,可以避免因为节点消失而造成信号发送失败的情况,增加工业无线通信的可靠性传输,但仅有的研究建立能量均衡的前提下,不具一般性。文献[10]提出了一种新的动态频谱接入策略,该策略以频谱池为基础,利用即时方式具有更高的接入效率,研究了频谱池的最佳容量和更新时间,发现存在定量的数学关系。文献[11]提出了一种新的层次博弈理论模型,该模型由重叠的联盟形成博弈模型和非合作博弈模型组成,分析了供应商之间的价格合作/竞争策略,研究了供应商之间的资源竞争。文献[12]提出一种频谱合作的方法解决不同的次用户感知信道的信息的分异,同时使用融合准则理论推导出解决方案的益处。文献[13]提出一种基于遗传算法的多信道频谱感知方法,以数学模型构建系统效用、感知收益以及由感知错误引起的系统开销概念,利用遗传算法有效解决多个认知用户在较短感知时隙内共同感知多个异构信道的问题。文献[14]提出了一种认知无线网络协同频谱感知的最优软融合方案,其利用融合中心全局测试统计偏差系数最大的基础上,在 Neyman-Pearson 框架下,推导了中继传感观测的最优软融合方案。文献[15-16]对无限传感网络中的数据建立融合模型,提高数据可靠性。

本文研究主要集中解决关于在线星型网络拓扑结构中信道优化分配和信道资源合理配置问题。为了解决对通信系统的性能评估和对信道源的分配,以信道的可靠性作为解决对象,采用评估信道质量为基础,运用在线排队模型为算法基础,以簇头处感知信道和网关节点感知干扰合作改进在线排队模型,利用遗传算

法改进网关节点权重,探索得出优化信道资源分配。

## 1 相关研究

### 1.1 感知频谱

认知无线电的立场是不影响授权信道的正常通信线,具有认知功能的无线通信设备,按照特定的方式接入后授权的信道,进入其先授权的信道内可以起到动态的利用信道或频谱。其结构如图 1 所示。

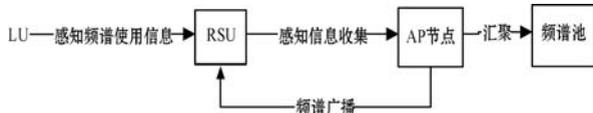


图 1 感知频谱结构

在感知频谱的租赁系统 RS 终端需要进行适当假设:(1) 假设在 RS 探测频谱时间内,上层协议必须保证所有的 RS 用户沉默,换言之,需要空中仅存在授权系统 LS 发射的功率;(2) 假设频谱探测在 RSU 和 LS 用户之间没有直视线路的情况,该假设可以满足在两者之间有直视路径时,检测到的 LS 功率将会比较大,从而将检测的结果变得更好。

在 AP 处的频谱信息的收集和广播在各个 RS 终端探测完成频谱后,该探测信息应该被传送到 AP 处,并在 AP 处进行逻辑或运算。当任意一个 RS 终端检测到其中一个子频带被 LU 占用,则认为该子频带不可用,同时将会最大限度地减少 RS 对 LU 的干扰。

### 1.2 整体设计模型感知

当前在人工智能算法中通常都是以在线和离线两种方式进行实验操作,本文以在线为主,利用底层簇头感知与网关节点感知实现对信道不间断的在线感知。以在线排队和在线筛选信道的可靠性选择优劣次序,运用簇头处感知信道和网关节点信道故障感知进行合作筛选,最终得出簇头处信道资源分配的优化矩阵。同时利用遗传算法对网关节点处的专家经验所得的权重比进行优化,优化后的权重将极大程度提高整个系统的效率。整体架构如图 2 所示。

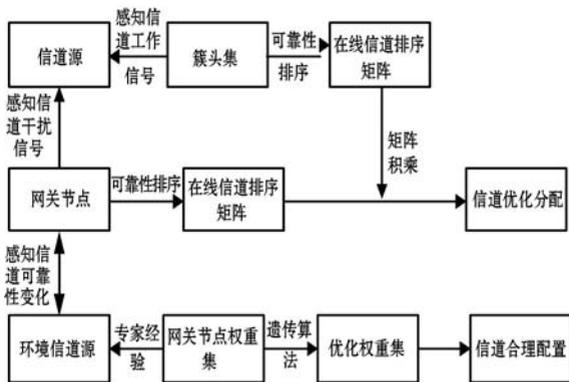


图 2 整体架构

## 2 信道质量评估的簇头感知中心模型

在一条主网络上假设存在完整的节点通信,共有  $N$  个网关节点,每个网关节点均有完整的子网络。假设其中一个网关节点下方的子网络存在  $n$  个 AP 节点,  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ ,如图 3 所示为线星型网络,每个子网络都存在  $m$  个信道且信道的质量均不相同,  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ 。

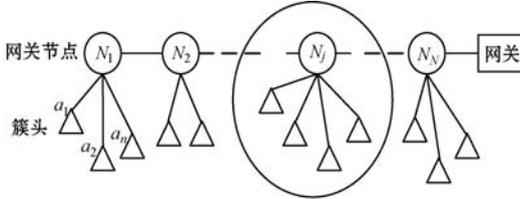


图3 线星型网络拓补结构

### 2.1 信道感知与外界干扰信道模型

对于信道而言,其质量的好坏取决于外界对信道的影响,当外界对信道发生影响时,信道感知外界必然会出现一定的故障,故障率会随着时间的推移逐渐变化,进而影响信道传输信息最终的质量。设某一簇头进行感知外界工作按照  $a_i(t_i, t)$  通信周期进行感知 ( $i$  为某一簇头结点序列)。在簇头感知外界能量消耗完之前,簇头以感知到外界通信事务周期时间为  $a_i(t)$  进行工作,在簇头感知通信事务周期内,随后该簇头将进入沉睡期(沉睡期较长),其沉睡期的时间为  $a_i(t - t_i)$ 。

对于网关节点而言,其本身可接受来自子网络的传输信息,并可自行感知外界信息,但是由于网关节点感知通信事务出现干扰的时间数存在随机性,其感知信道不存在特定的周期。在网关节点感知外界时,可感知出外界对当前信道的干扰信号的通信时间,以第一网关节点为例,以感知到干扰信道  $c_m$  信号开始算起到感知干扰信号消失,其工作的时间为  $N_1(T_1)$ ,同时设定从当前时刻算起到下一次感知到信道信息的时间为  $N_1(T_2)$ ,则可以将网关节点感知信道  $c_m$  的时间表示为:

$$N_1 T = N_1(T_1) + N_1(T_2) \quad (1)$$

在簇头处感知外界的通信周期内,由于外界环境的变化会对簇头存在干扰造成簇头某段通信周期内中感知到错误信息,其簇头可以感知到错误信息出现的概率为:

$$Rate(a_n, c_m) = \frac{a_i(t_i)}{a_i(t)} + \frac{1}{a_i t} \int_0^{a(t-t_i)} \Pr(x \geq t) dt \quad (2)$$

网关节点可以感知到错误信息出现的概率为:

$$Rate(N_1, c_m) = \frac{N_1(T_j)}{N_1(T)} + \frac{1}{N_1 T} \int_0^{N(T_{j+1})} \Pr(x \geq t) dt \quad (3)$$

式中:  $Rate(N_1, c_m)$  表示第一项为节点在  $[0, a_i t_i / N_1 T_1]$  感知到干扰信道  $c_m$  信号出现的概率,由于感知干扰信道的性能是相同的,因此干扰信道的信号出现都将呈现即时感知。同时式中第二项为节点的沉睡期,由于节点进入沉睡期的时间较长,因此在下一个周期或者干扰信号来临时,其存在感知干扰信道信号出现的可能性变大。

### 2.2 感知干扰信号模型

对于簇头而言,所有簇头具有相同特性,因此其感知信道的工作周期相同,沉睡期和感知工作时间也将必然按照设定的顺序进行。由于同处在一个网关节点下方的所有簇头应具有相同的特性,因此最后一个簇头感知信道  $c_m$  信号时间结束后,感知周期结束标记为所有簇头感知信道信号的一个周期  $T_{N1}$ ,该周期包括所有簇头感知信道工作的所有时间和簇头沉睡期的时间。对于任何一个簇头而言,其通信事务的周期应该为感知信道的时间与沉睡时间的总和,因此对任何一个信道,感知信道的时间就会出现不同。利用信道感知模型可得出对信道  $c_m$  可能存在的干扰时间为:若在这段时间内网关节点下的簇头在通信事务周期内感知到信道的通信时间为  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ ,则簇头沉睡期为  $t - s_1, t - s_2, \dots, t - s_n$ ,根据式(2)可得出关于信道感知的矩阵,设定簇头关于通信事务的工作周期中感知信道的矩阵为  $T(N_1, c_m)$ ,则簇头通信事务的周期中感知信道的矩阵可以表示为:

$$T(N_1, c_m) = \begin{bmatrix} Rate(a_1, c_m)S(1, c_m) & t - S(1, c_m) \\ Rate(a_2, c_m)S(2, c_m) & t - S(2, c_m) \\ \vdots & \vdots \\ Rate(a_n, c_m)S(n, c_m) & t - S(n, c_m) \end{bmatrix} \quad (4)$$

在网关节点感知外界干扰信道信号的出现时,其可靠性的变化来源于两大因素影响(不考虑网关节点与网关节点之间的部署)。其一来自外界对信道的干扰,其干扰量直接影响网关节点感知信道的质量;其二来源于网关节点自身,网关节点自身的工作时间与沉睡时间的变化。利用上述关于在通信事务周期内簇头感知到信道的通信时间为  $S$  的前提下,对当前网关节点进行感知信道中是否存有干扰信号的处理。感知到外界干扰信道信号的出现时,利用式(3)可得出关于感知矩阵  $N_{1OUT}(t)$ ,则簇头通信事务的周期中感知信道的矩阵可以表示为:

$$N_{1OUT}(t) = \begin{bmatrix} Rate(N_1, c_m)S(1, c_m) & t - S(1, c_m) \\ Rate(N_2, c_m)S(2, c_m) & t - S(2, c_m) \\ \vdots & \vdots \\ Rate(N_n, c_m)S(n, c_m) & t - S(n, c_m) \end{bmatrix} \quad (5)$$

## 2.3 量化处理模型

在检测问题中,为了方便信号的处理、存储和传输,降低系统的复杂度,需要对检测到的信号进行量化。在检测信号检测中,量化后的信号并不需要通过重建来恢复原始的信号,而是通过某些检测算法得出最终的判决结果。与量化失真相比,系统整体的检测性能更为重要。因此检测问题中的量化器并不以最小量化失真为目标,而应以最优化检测性能为目标。从广义上来讲,本地检测统计量为一个连续幅度的随机变量,当其数值大于判决阈值时,则判决  $H_1$  为真,反之则判决  $H_0$  为真。经过判决,检测统计量从连续幅度的无限集合被映射为含有两个元素的有限集合,因此本地判决过程实际上是一个 1 bit 的量化过程。在集中式的认知无线网络中,频谱通常是由中心节点进行管理和分配。假设量化后的本地检测节点的检测结果为  $u_i$ ,其中  $i$  为本地节点的编号,根据上述所设,可知当采用最小错误概率准则来推导多比特的判决结果的最优融合准则时,最小错误概率准则可以表示为:

$$\frac{P(u_1, u_2, u_3, \dots, u_n | H_1)^{h_1} P(H_1)}{P(u_1, u_2, u_3, \dots, u_n | H_0)^{h_0} P(H_0)} \geq 1 \quad (6)$$

转化为对数似然比检验形式:

$$\lg \frac{P(u | H_1)}{P(u | H_0)} + \lg \frac{P(H_1)^{h_1}}{P(H_0)^{h_0}} \geq 0 \quad (7)$$

根据各节点所检测的结果相互之间独立,则有:

$$\begin{aligned} P(u | H_1) &= \prod_{i=1}^n P(u_i | H_1) = \\ &= \prod_{S_1}^n P(u_i = 1 | H_1) \cdot \prod_{S_2}^n P(u_i = 2 | H_1) \dots \\ &= \prod_{S_q}^n P(u_i = q | H_1) = \\ &= \prod_{S_l}^q \prod_{l=1}^q P(u_i = l | H_1) \end{aligned} \quad (8)$$

式中:  $S_l$  表示量化后判决结果为  $l$  的所有节点的  $u_i$  的集合,类似的有:

$$P(u | H_0) = \prod_{S_l}^q \prod_{l=1}^q P(u_i = l | H_0) \quad (9)$$

将式(8)和式(9)代入式(7),化简可得:

$$\begin{aligned} \lg \frac{P(u | H_1)}{P(u | H_0)} + \sum_{S_l}^q \sum_{l=1}^q \lg \frac{P(u_i = l | H_1)}{P(u_i = l | H_0)} = \\ \lg \Lambda_0 + \sum_{S_l}^q \sum_{l=1}^q \lg \Lambda_{il} \geq 0 \end{aligned} \quad (10)$$

式中:

$$\begin{aligned} \Lambda_0 &= \frac{P(H_1)}{P(H_0)} \\ \Lambda_{il} &= \frac{P(u_i = l | H_1)}{P(u_i = l | H_0)} \end{aligned} \quad (11)$$

利用上述最优融合准则的模型对簇头与网关节点中的检测到的信道进行量化处理,其量化后的结果形成标准矩阵,利用形成的簇头处的量化矩阵和网关节点的量化矩阵进行下述操作。

## 2.4 在线信道排队模型

根据上述模型可得到关于簇头处量化矩阵和网关节点处量化矩阵。由于可靠性的变化直接关系到簇头感知信道的排序,利用簇头处量化矩阵和网关节点处量化矩阵对各个信道进行不同的感知(去除节点自身发生的故障率),则可以对点到点、端到端、点到端的信道队列进行排序。设定  $RANK(N, n)$  为队列排序,其中  $N$  为网关节点,  $n$  为其分支下的簇头的总数。以第一网关节点为例,则排序队列为  $RANK(s)$ ,即在  $s$  时刻时系统的第一网关节点和簇头感知出的队列;将网关节点感知的干扰信号与簇头感知的信道进行统计,该统计矩阵表示为:

$$NUM(N_1, a_n, c_m) = T(N_1, c) \cdot N_{1OUT}(t) \quad (12)$$

$RANK(s, N_1/a_i, c_m)$  为  $s$  时刻某信道  $c_m$  在网关节点感知的队列中或者在簇头感知的队列中的位置,其取值的范围为  $[1, m]$  的整数位;  $RANK(NUM(N_1, a_n, c_m))$  表示的是在对某一个信道  $c_m$  感知中所有簇头感知信道与网关节点感知干扰信号处理后的排序。因此,关于  $RANK(s)$  的信道感知干扰信号的排序为:

$$NUM(RANK(s)) = RANK(NUM(N_1, a_n, c_m)) \quad (13)$$

$NUM(RANK(s))$  中排列的信道越靠前表明该信道在网关节点感知干扰信号与簇头感知信道融合的干扰次数越多,表明该信道的越容易出现故障,利用出现的干扰次数对在  $s$  时刻的系统中的信道和权重比列进行构建  $s$  时刻的簇头信道队列,构建如下:

$$RANK(s) = \sum_{c=1}^n \theta_c K_c \text{Capture}(NUM(RANK(s))) \quad (14)$$

式中:  $\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n]$  是加权平均参数;  $K_c$  为一个排队模型;  $\text{Capture}(NUM(RANK(s)))$  为感知信道干扰信号后的去除或正确排序后的序列。

对于上述加权参数而言,第一次感知的权重系数可以设为 1,在若干簇头工作周期后的加权系数都将会呈现动态实时的变化,即第  $c$  次中所有簇头在第  $x$  次感知中的加权系数为  $\theta_c(x)$ ,则每一次感知后,簇头的权重分配变化应满足当前的簇头感知信道与网关节点感知干扰相关,其表达式为:

$$\theta_c(x+1) = \theta_c(x) \text{Rate}(a_c, c_m) / \frac{1}{n} \sum_{c=1}^n \theta_c(x) \text{Rate}(a_c, c_m) \quad (15)$$

每一个簇头感知的信息尽管随着时间的变化呈现出实时动态变化,但是在对于总的权重而言仅满足

$\sum_{c=1}^n \theta_c(x) = n$ 。当一个簇头感知的故障大时,其所占的权重将会降低从而保证在数据融合的时候不会影响到最终的结果;反之,簇头感知的故障率越小,综合判定的权重比列也将会越大。

### 3 基于遗传算法的网关节点信道资源

#### 3.1 构建遗传算法

基于专家意见,按照上述设计的方法对网关节点感知到的信道在线排队矩阵进行编排。对于每一个网关节点下形成的小型信道感知矩阵,利用当前的网关节点对后续网关形成的小型信道矩阵进行感知,可将后续每一个网关节点处形成的信道矩阵看成是一个较为准确的专家意见,对多个专家意见进行科学的融合,即可得到较为准确的网关节点的在线信道排队模型。考虑将任意的子网络中的信道排序作为一个专家意见,通过将  $n$  个专家意见进行加权平均获得最终的信道排序,因此,在  $N$  个 AP 节点所对应的主网络信道综合排序可以表示为:

$$\text{Rank}(C, \theta) = \sum_{N=1}^N \theta_N \cdot \text{Rank}(a_N, C) \quad (16)$$

$$\sum_{N=1}^N \theta_N = 1$$

式中:  $\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n]$  是加权平均参数;  $\text{Rank}(a_N, C)$  中的第一个信道则为最优信道。假设第一个信道为  $c$ , 则信道  $c$  在当前网络中的综合通信质量  $Q(c)$  可以表示为:

$$Q(c) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q(a_j, c) \quad (17)$$

因此,针对不同的参数向量  $\theta$ , 可以获得不同的综合信道排序,同时可以获得在网关节点处关于信道的最终排序和分配,利用遗传算法,求解最优的参数向量  $\theta$ 。

#### 3.2 信道参数编码规则

对于信道资源分配的优化,可以将与信道质量评估的参数向量编码为一个二进制字符串,其中每一个向量分量由  $K$  个二进制字符组成。假设  $\theta_j$  所对应的二进制字符串为  $\omega_j$ , 则向量  $\theta = \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$  的字符串可以表示为  $\omega = \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ , 可以看作是遗传算法中一个染色体个体,  $\omega$  中的分量与  $\theta$  参数分量之间的转换关系可以表示为:

$$\theta = \frac{\omega}{\sum_{1 \leq i \leq n} \omega} \quad (18)$$

假设  $\theta_j$  要精确到  $x$  位小数, 可以将闭区间  $[x_{\min}, x_{\max}]$  分  $(x_{\max} - x_{\min}) \times 10^x$  等份。假设:

$$2^{(q-1)} < \frac{(x_{\max} - x_{\min}) \times 10^x}{n} < 2^q \quad (19)$$

则  $\theta_j$  的二进制长度至少为  $q$  位, 染色体的长度为  $q \times n$ 。

#### 3.3 遗传算法的信道适应度函数

作为遗传算法而言, 适应度函数是用来评估染色体个体质量的评价函数, 也是作为选择操作的基本指标, 对于适应度值较大的染色体个体将有较大的概率被选入新的种群, 反之亦然。本文主要考虑对综合排序  $\text{Rank}(a_N, C)$  进行评估, 而在实际应用中, 仅仅考虑  $\text{Rank}(a_N, C)$  中的第一个信道  $c$ 。因此, 可将信道  $c$  的综合通信质量作为遗传算法  $Q(c)$  的适应度函数, 即:

$$F(\omega) = Q(c) \quad (20)$$

式中:  $\omega$  是与参数向量  $\theta$  所对应的二进制字符串, 也是种群中一个个染色体个体。

#### 3.4 基于遗传算法的信道评估算法

(1) 随机产生初始信道种群  $P_0$ , 其中每个染色体  $\omega_j$  都是由随机产生的长度为  $q \times n$  的二进制串组成;

(2) 计算染色体的适应度值。根据式 (20) 计算每个个体的染色体的适应度值;

(3) 判断终止化条件。终止条件是系统执行之前设定的遗传算法的进化最大代数。如果符合上述终止条件, 则终止算法的执行, 得出最优染色体, 根据最佳染色体计算出最佳权重; 否则, 转到第 (4) 步。

(4) 选择父染色体。在被选集 (当前种群) 中, 每个染色体具有一个适应度值及其被选择的概率  $P(\omega_j)$ 。根据选择操作, 得出由父染色体组成的种群。

(5) 生成新种群。根据第 (4) 步中得到的父种群, 按照交叉和变异操作, 生成新种群, 返回第 (2) 步。

#### 3.5 控制算法

基于上述准则, 对于未知的信道可以有效地提高在感知过程的效率, 同时可以更加合理地对信道的分配进行优化。

其工作流程如下:

**步骤 1** 基于感知频谱的原理, 对簇头和网关节点处进行信道感知。

**步骤 2** 使用网关节点下方簇头进行簇头感知信道, 对感知到的信道利用当前网关节点感知干扰信号, 记录干扰与簇头正常感知出现碰撞的次数。

**步骤 3** 利用记录的碰撞次数对簇头感知的信道

采用在线评估的算法进行排序,次数越多证明信道的可靠性越低。

**步骤 4** 基于簇头处形成的信道感知矩阵,依据在线排队模型,对网关处节点下的簇头依据干扰次数和可靠性构建不同的信道感知矩阵。

**步骤 5** 使用遗传算法处理网关节点处的调控权重,利用遗传算法解决权重问题。

## 4 仿真结果与分析

基于上述准则,利用 MATLAB 软件对同一网关节点下的不同簇头处关于相同信道的感知生成数据集,生成的标准以周期相同,但感知工作时间不同,便于对实验的正确性进行检测。此处簇头随机敷设,信道具有 16 个,网关节点可根据当前实际情况具体制定个数,根据上述给定的关于在线模型的计算方法对网关节点的故障感知概率进行随机统计。当前针对簇头处的实验,以第一网关节点进行验证,利用软件进行实时设定,以信道中的可靠性为恒定指标,利用干扰次数出现的频率来认定一个节点处感知的信道的质量的好坏,利用在线排队的模型对感知出的信道的好坏进行实时排队处理,分辨出当前信道质量的好坏。

对于上述提出的簇头感知信道工作的时间与网关节点感知干扰信道的信号出现,利用 MATLAB 软件对当前的网关节点和簇头进行模拟实验。在使用软件进行模拟前,需要对信道传输信息的可靠性进行预处理设定,即使用分布期望对信道传输信息的可靠性处理,设定实验原始信道可靠性。表 1 为实验的信道可靠性的数集表。

表 1 信道的传输信息的可靠性

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
可靠性	0.945	0.998	0.88	0.95	0.99	0.91	0.75	0.85
序号	9	10	11	12	13	14	15	16
可靠性	0.94	0.91	0.93	0.957	0.92	0.93	0.935	0.984

### 4.1 仿真步骤

**步骤 1** 建立簇头感知信道的工作周期和网关节点感知干扰信号周期(如式(1) - 式(3))。

**步骤 2** 利用建立的周期确定簇头感知信道的概率与网关节点感知干扰信道的概率(如式(4)),对簇头处的感知信道与网关节点进行量化处理(如式(5) - 式(7))。

**步骤 3** 利用矩阵建立相对应的簇头处的量化矩

阵和网关节点的量化矩阵,对簇头处的量化矩阵和网关节点的量化矩阵进行在线处理,即每次利用对信道检测出现的干扰与感知的信道结果进行感知融合(如式(8)),其结果矩阵可提供在线排队模型的实时排序。在  $s$  时刻的系统中,以出现结果矩阵的干扰次数对的信道和权重比列进行构建  $s$  时刻的簇头信道队列(如式(13) - 式(14)),并使用簇头权重调节因子(如式(15))对当前的簇头信道队列进行权重调节。

**步骤 4** 在簇头处完成  $s$  时刻的信道排队模型后,形成各小型排队矩阵小型信道感知矩阵,利用当前的网关节点对后续网关形成的小型信道矩阵进行感知,可将后续每一个网关节点处形成的信道矩阵看成是一个较为准确的专家意见。根据专家经验,对网关节点处形成权重比列分配,以遗传算法作为调节权重比列变化的基础算法,对权重进行实时分配优化(如式(16))。

**步骤 5** 对当前的网关节点制定编码规则与适应度函数,该编码规则(如式(18) - 式(19))为: $x_{\max} = 1$ ,  $x_{\min} = 0$ ,满足当前对网关节点的需求。其适应度函数为上述形成的  $Q(c)$ (如式(17)、式(20))。在经过优化权重后,可得出较为精确的权重比例分配。

## 4.2 簇头下的在线感知模型实验结果分析

### 4.2.1 调控通信事务周期变化感知实验

当前对于工业上的信道处理分配的方法绝大部分都是以盲跳频的方式处理信道的分配的,这就使得在以可靠性为结果的信道上出现丢失或缺失等不必要的资源问题。在对簇头处感知信道以及网关节点的实时感知干扰情况下,利用对周期进行调控的同时可以很好地针对当前的在线排队模型和随机盲跳频模型的实时对比。利用在线排队模型可以很好地解决在处理簇头处的信道的分配和资源的合理配置,设定实验参数信道的可靠性。同时预处理通信事务的通信周期,在本实验中对簇头的数量进行恒定设定,以防止实验处理时会对实验结果造成不必要的影响,设定簇头节点均为 3 个,表 2 为设定的通信事务周期。

表 2 通信事务周期与簇头数量

通信周期	0	20	30	40	50	60	70	80
实验 1 簇头数量	3	3	3	3	3	3	3	3
实验 2 簇头数量	3	4	3	4	5	4	5	4
通信周期	90	100	130	150	160	200	250	300
实验 1 簇头数量	3	3	3	3	3	3	3	3
实验 2 簇头数量	5	2	7	5	6	4	3	4

在使用相同簇头节点的情况下,通过改变通信事务的周期对当前信道处理,验证调控通信事务周期变化是否会对系统级的可靠性带来变化。如图4所示,实验1只改变通信事务周期的前提下,在线排队可以达到83.5%左右的可靠性变化,未使用优化排队的可靠性维持在74%。这表明在线排队模型可以有效提高系统级的可靠性,并大幅减少网关节点感知干扰信号。

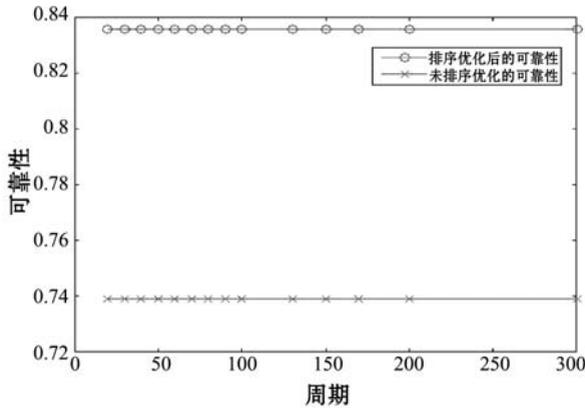


图4 实验1 系统级可靠性变化

为了验证同时改变簇头数量与通信事务周期前提下系统级的可靠性,避免因簇头数量相同而造成实验与实际情形出现较大的误差,在图5中,实验2的在线排队模型的系统级可靠性仍然可以很好地稳定在83.5%,未使用优化排队的可靠性为74%。这充分说明了对通信事务周期的调控下,使用在线排队模型可以有效帮助簇头中信道质量较好的可以得到充分的利用,从而避免信息的缺失和资源的浪费。

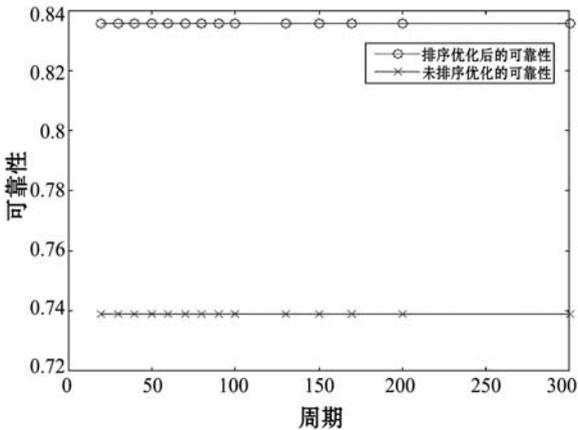


图5 实验2 系统级可靠性变化

#### 4.2.2 调控簇头数量验证盲跳频与在线排队模型实验

通常而言对于工业使用信道的方法,在簇头的数量不断增加的情况下,都是以增多信道的方法来缓解盲跳频,利用盲跳频处理信道的分配是当前的一种常用的方法,但是单纯地使用盲跳频会使系统级的可靠性呈现大幅度趋于低可靠性的态势,利用在线排队模

型可以很好地解决这一问题。

如图6所示,随着簇头的不断增加,排序优化的系统级可靠性均处于盲跳频的水平之上,盲跳频的曲线与排序优化曲线逐渐呈现出下滑趋势,直到簇头增加至16时,排序优化曲线开始呈现出缓慢下滑趋势,其盲跳频仍处于较快下滑趋势。当簇头至20时,排序优化曲线已基本保持小幅下滑的趋势,而盲跳频曲线仍大幅下滑。严格意义上来讲,在大环境下,系统级的可靠性随着大量的簇头增加而呈现极小的下滑趋势,为信息的传输提供保障。相反,随着簇头的增加,盲跳频的下滑趋势极大,不能为信息的传输提供保障。按照实验对比图可以得出,在极大的信道数量和极多的簇头使用情况下,在线排队模型的方法远远大于实用盲跳频所带来的系统级的可靠性。

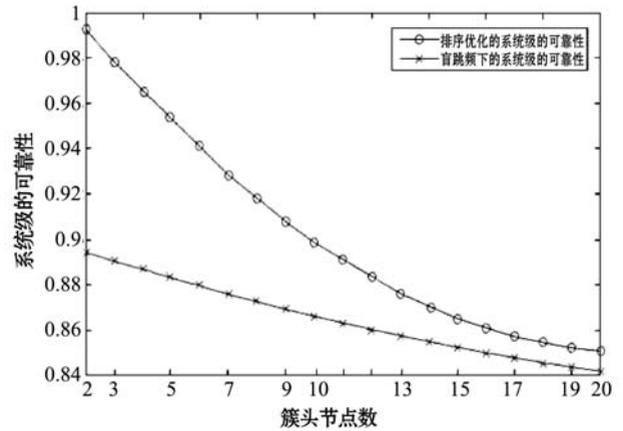


图6 簇头数量变化的系统级可靠性变化

#### 4.3 网关节点数量变化对系统级可靠性的实验

利用网关节点数量的变化来调控关于系统级的可靠性的变化,其中作为衡量优化后的与未优化的系统级的可靠性,同时作为评价一个信道质量的两大评价手段,簇头所评价的为当前AP节点所带来的局部影响,网管节点所评价的则为当前系统级的信道质量的问题。因此在对簇头节点量级的实验后,应当对当前系统级下的网关节点量级进行实验与仿真,进而充分说明在排序优化后的网关节点的量级上升中与盲跳频下的系统级的可靠性的变化,二者均可对系统级的可靠性做出合理的判定。

如图7所示,执行算法的排序优化的系统级可靠性与盲跳频下的系统级可靠性均呈现下滑趋势。至主节点数为2时,其排序优化的系统级可靠性比盲跳频系统级可靠性高0.05,纵观整个实验结果,排序优化的下滑速率较盲跳频的下滑速率快,但是从系统级的可靠性来说,在网关节点的数量没有达到极多的前提下,使用优化模型的系统级可靠性仍然比使用盲跳频

的系统级的可靠性高。在数量级达到 16 时,网关节点的系统级可靠性比盲跳频的系统级可靠性高出 3%, 对于一个系统的稳定性和精确性而言,优化模型将会保障系统级的信息传输精确。

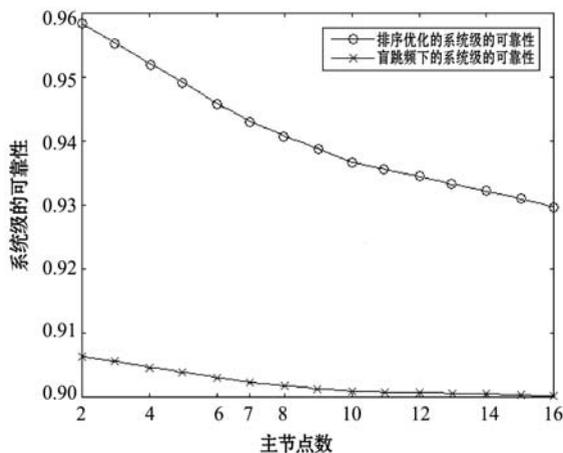


图 7 簇头数量变化的系统级可靠性变化

#### 4.4 网关节点处下重传信息处理优化信道问题验证

在实际运行中,对于一个信息传输而言,通常达不到 100% 的传输成功。在工业上对于信息的传输都是采用一定的传输次数,以解决传输所带来的失败率和丢包率,因此网关节点处必定会出现一些重传信息。这些重传信息给实验结果带来一定的误差,利用实验对误差进行一定量级化的处理,处理后对算法与盲跳频下的系统级的可靠性进行实验。

如图 8 所示,在网关节点出现重传时,利用算法系统级的可靠性下滑速率较为平稳,使用盲跳频下的系统级的可靠性大幅下滑。在网关节点量级达到 15 后,使用算法优化的系统级的可靠性相对平稳,但使用盲跳频的呈现下滑趋势不变,在一段量级化后,使用算法排序优化的系统级的可靠性将远远领先盲跳频的系统级的可靠性。

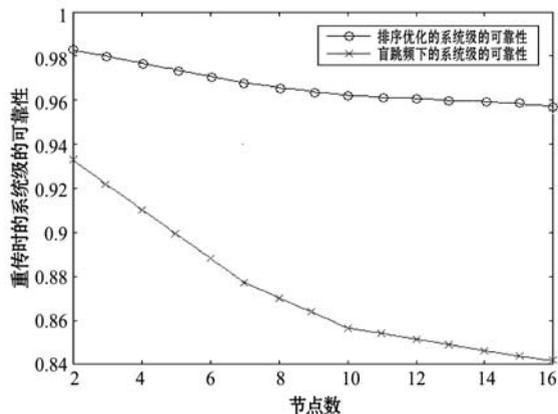


图 8 出现重传时网关节点数量变化系统级可靠性变化

#### 4.5 网关节点下分配权重的遗传算法

当前对网关节点权重优化和合理分配使用的遗传算法,选取变异概率为 0.05,交叉概率 0.9,设定代沟 0.9,对检测的簇头设定数量为 10,网关节点 8,并随机敷设 16 个信道可靠性,其敷设的可靠性均处在可用之上并设定其中某些信道的可靠性处于不稳定状态(设定的可靠性符合实际情景)。算法结果如图 9 所示。

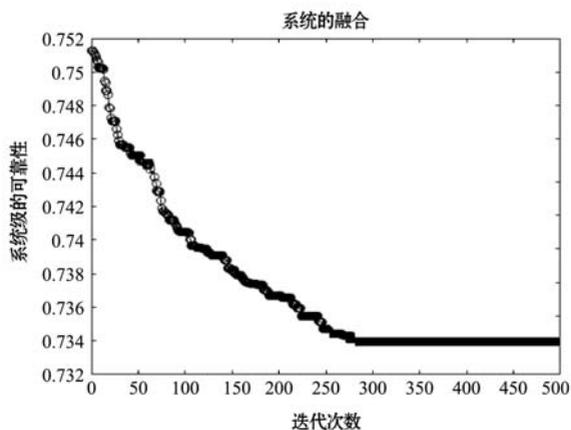


图 9 权重比例优化分配遗传算法

在使用遗传算法的时候,对权重比例进行设定,其权重比例总和为 1,利用随机变异和交叉,实现基因的另创造和优化基因。对网关节点的权重训练时,使用遗传算法在迭代次数达到 250 代左右后系统的可靠性收敛,呈现稳定趋势,系统的可靠性收敛于 0.734 左右。250 代之前系统的总体可靠性呈现下滑趋势,为系统的不稳定时期,在该时期系统的可靠性尽管比后期的可靠性高。但对于一个系统而言应当考虑的是对系统的稳定性和可靠性,同时要满足通信事务周期长、信息量多以及系统总体平稳,而不是单纯地考虑极短期的高效率、低回报的预期结果。

## 5 结 语

本文评价簇头处的信道质量是以感知信道工作以及网关节点感知干扰信号进行质量指标评估。对每个簇头构建数学模型,可得到较为精确的在线排队模型,对各簇头处进行有效的信道排序,形成簇头处合理优化的信道感知矩阵。根据较多簇头处信道感知矩阵在线集合,实时综合出簇头处精准的信道优化排序。在各网关节点处利用专家经验对网关节点处权重分配,以遗传算法对权重在线集合进行调节,簇头处感知信道故障和感知簇头集合对权数进行优化分配,得出最终优化的信道资源配置。利用建立的数学模型和仿真软件可以很好地对当前的信道进行很大程度上的优化

和筛选,符合对信道的设定。实验结果表明:优化后的信道资源分配可以很好地调节信道问题,具有良好的稳定性和较高的运行效率,对系统的可靠性具有极大的提高,同时在收敛速度和搜索全局最优解上有了一定的改进和提高。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Haddad M, Hayar A, Debbah M. Spectral efficiency of spectrum-pooling systems[J]. *Iet Communications*, 2012, 2(6):733 - 741.
- [ 2 ] 林法杰, 薛伟, 张玉兵. 基于频谱池的认知无线电频谱切换分析[J]. *计算机与数字工程*, 2014, 42(4):566 - 569.
- [ 3 ] 江磊, 高月红, 张欣, 等. 频谱池在认知无线电中的应用[J]. *现代电信科技*, 2011, 41(4):42 - 45.
- [ 4 ] 刘红杰. 基于认知无线电的动态频谱管理理论及相关关键技术研究[D]. 北京:北京邮电大学, 2009.
- [ 5 ] 何世彪, 张新春, 孙江. 一种基于信道节点的动态频谱分配算法[J]. *重庆理工大学学报*, 2011, 25(1):49 - 53.
- [ 6 ] 赵喜玲, 马巍. 遗传算法结合 SA 的无线 Mesh 网络信道分配方案[J]. *控制工程*, 2017, 24(9):1913 - 1917.
- [ 7 ] Islam M J, Islam M M, Islam A B M A A. Intelligent dynamic spectrum access using hybrid genetic operators[J]. *Swarm & Evolutionary Computation*, 2017, 36(3):1 - 17.
- [ 8 ] Shahid M I B, Kamruzzaman J, Hassan M R. Modeling multiuser spectrum allocation for cognitive radio networks[J]. *Computers & Electrical Engineering*, 2016, 52(18):266 - 283.
- [ 9 ] 耿鲁平. 面向工业无线传感器网络的可靠传输算法研究[D]. 沈阳:沈阳理工大学, 2018.
- [ 10 ] Liu H J, Shu-Fang L I. Performance analysis of access strategy based on spectrum pool in cognitive wireless network[J]. *Journal of Beijing University of Posts & Telecommunications*, 2009, 32(1):1 - 4.
- [ 11 ] Xiao Y, Niyato D, Han Z, et al. Secondary users entering the pool: a joint optimization framework for spectrum pooling[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2014, 32(3):572 - 588.
- [ 12 ] 申滨, 王志强, 青晗. 基于次用户功率控制辅助的合作频谱感知[J]. *电子与信息学报*, 2018, 40(10):2337 - 2344.
- [ 13 ] 富爽, 王金金, 祁广云, 等. 认知 TD-LTE-A 异构网中基于遗传算法的多信道频谱感知方法[J]. *中国科技论文*, 2018, 13(23):2672 - 2678.
- [ 14 ] 刘洲洲, 彭寒. 基于节点可靠度的无线传感器网络拓扑控制算法[J]. *吉林大学学报(工学版)*, 2018, 48(2):571 - 577.
- [ 15 ] Zhang L J, Deng X, Guo L, et al. The data fusion survivability analysis technology of wireless sensor network[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, 427(9):2630 - 2635.
- [ 16 ] Peng W, Yu L, Shilei S. Analysis and research based on the adaptive fusion technology of the wireless sensor network[J]. *Sensor Letters*, 2011, 9(5):2087 - 2091.
- ~~~~~
- (上接第 100 页)
- [ 2 ] 管丽娟. 政府信息公开法律制度研究[J]. *法治论丛*, 2005, 20(2):129 - 133.
- [ 3 ] Kurilovas E. Learning content repositories and learning management systems based on customization and metadata[J]. *IEEE*, 2009(23):632 - 637.
- [ 4 ] 陈涛. 基于内容库的政府信息公开系统的设计与实现[J]. *中国金融电脑*, 2015(12):57 - 62.
- [ 5 ] 于宪生, 陈晓鸥. 内容管理与媒体资产管理小析[J]. *现代电视技术*, 2003(8):116 - 119.
- [ 6 ] 卜少培. 仿真资源云存储技术的研究与实现[D]. 北京:北京理工大学, 2011.
- [ 7 ] 成敏, 薛胜军. 基于 JAVA 内容仓库的协同 CMS 关键技术研究[J]. *计算机应用与软件*, 2009, 26(11):19 - 21.
- [ 8 ] 伍权, 李志蜀. 基于 JCR 的企业信息发布系统的设计和实现[J]. *计算机应用*, 2008(28):338 - 340.
- [ 9 ] 薛胜军, 成敏. Java 内容仓库及其在 CMS 中的应用[J]. *计算机技术与发展*, 2009, 19(1):241 - 247.
- [ 10 ] 张建, 刘更. 基于 XML 实现 Java 内容仓库和关系型数据库的双向映射[J]. *计算机应用研究*, 2009, 26(1):211 - 214.
- [ 11 ] 张建, 刘更. 基于 Java 内容仓库的仿真分析数据的管理[J]. *计算机工程与设计*, 2009, 30(2):997 - 999.
- [ 12 ] Nkangi D. Adapting content management interoperability services for web content management systems[D]. Sweden: Computer Science and Engineering Royal Institute of Technology, 2010.
- [ 13 ] 李涟. 管理信息系统 CMIS 在公路人事领域中的应用[J]. *现代经济信息*, 2017(1):116 - 117.
- [ 14 ] 武晓波. Web 服务客户端开发平台的设计与应用[D]. 北京:北京交通大学, 2013.
- [ 15 ] Choy D, Brown A, Guresh E, et al. Content Management Interoperability Services (CMIS) Version 1.0 Committee Draft 06[M]. OASIS Content Management Interoperability Services TC, 2009:384.
- [ 16 ] Müller F, McVeigh R. Content Management Interoperability Services Version 1.1[M]. Content Management Interoperability Services TC, 2013:331.
- [ 17 ] Jada S. Implementation of Web Content Management System for a charity group[D]. Sweden: Mälardalen University, 2012.
- [ 18 ] 张凯. 基于 SQL 的电子资源数据库元数据的开发与实现[D]. 河北:河北大学, 2014.